LÍQUENES COMO BIOINDICADORES

EN BARRIO PARQUE SAN ANTONIO

CAVIGLIA, Agustín Francisco[1]; LAREDO, Fernando[1]; LLANOS, Melina[1]

[1] Cátedra de Problemática Ambiental, FCE,FyN, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la calidad del aire en barrio Parque San Antonio mediante el uso de la **Comunidad de Líquenes cortícolas** como bioindicadores. El interés del mismo es ante todo sanitario, ya que desde la ampliación de la fábrica de bioetanol Porta Hnos. en el año 2012, para la producción de bioetanol, se han reportado malos olores y "afecciones en la salud de los vecinos o agravación de patologías anteriores a la fecha" (Ávila Vázquez et al. 2013) . Con el fin de poder establecer alguna relación entre el estado de la comunidad liquénica del barrio y el foco de contaminación aparente, se cuantificó *Abundancia, Riqueza* de especies y *Diversidad alfa* en 45 forófitos a diferentes distancias de la fábrica de bioetanol. Para realizar el muestreo de datos, se seleccionaron cinco estaciones, con las que se realizó el cálculo del *Índice de Pureza Atmosférica* (IPA) de cada una. Se logró identificar un total de nueve (9) especies diferentes de líquenes. A través del mapeo de las comunidades de líquenes según sus valores de Cobertura, Riqueza, Diversidad y Equitatividad, a fin de determinar los patrones espaciales comunes para todas las variables y del cálculo del IPA, se identificó un patrón espacial donde las ***mayores*** se encontraron en las Estaciones del Este (Calles Barrera y Bianco), decreciendo con un mínimo en la Estación central (Calle Carreras) y con valores intermedios en las Estaciones del Oeste (Calles Cazón y Colovini).

Palabras Claves: Comunidad liquénica, Bioindicadores, Índice de Pureza Atmosférica (IPA), Barrio Parque San Antonio, bioetanol.

OBJETIVOS

- Determinar los géneros de líquenes presentes en Barrio Parque San Antonio
- Establecer cobertura, riqueza, diversidad y equitatividad de las comunidades de líquenes cortícolas en barrio Parque San Antonio
- Establecer el grado de correlación entre la Riqueza, Abundancia, Diversidad y Equitatividad de las comunidades liquénicas con la Distancia de los forófitos al Foco de Emisión de la Fábrica
- Mapear las comunidades de líquenes cortícolas según sus valores de Cobertura, Riqueza, Diversidad y Equitatividad a fin de determinar los patrones espaciales comunes de las variables

INTRODUCCIÓN

Contexto Social del problema

A partir de los años 90´, Argentina se posiciona fuertemente como país productor de materias primas, dentro de la lógica neoliberal que adopta el Estado frente a las presiones internacionales. Si bien el avance de la frontera agrícola sobre el territorio deviene de la necesidad de aumentar la producción de cereales de exportación destinados para el consumo, gran parte del total de este porcentaje tiene como objetivo la utilización de tierras para el cultivo de cereales, con el destino de fabricación de biocombustibles. Así, el Estado busca no solo consolidar el mercado en matriz energética a nivel nacional, sino también insertarse como potencial productor-exportador.

En el marco de este proceso, es que en 2012 surge la ampliación de Porta hnos., donde deja de ser solamente una fábrica de destilería para sumar a su gama de productos al *bioetanol,* elaborado a partir de maíz transgénico. Inmediatamente a este hecho, es que los habitantes de las zonas aledañas a la fábrica comienzan a presentar afecciones en su salud o agravación de patologías anteriores a la fecha. Esta nueva planta de producción de etanol a partir de cereal funciona en el extremo Oeste del predio, sector de descarga de materia prima por camiones, que genera la salida de material particulado. Éste se dispersa por la

atmósfera, ya que el grano está revestido con una gran cantidad de tierra e impurezas. En etapas posteriores del proceso de producción, se elimina por venteo de los reactores de fermentación alcohol etílico y dióxido de carbono producto del proceso de hidrolización del almidón de la semilla y de fermentación, "Cuando se elimina el CO2 de los fermentadores se arrastran algunos de los componentes más volátiles que se encuentran en la solución, en proporciones similares a la concentración que contiene la mezcla de fermentación. Del sector de reactores de sacarificación y fermentación (...) solo hay una vía de eliminación de los gases y vapores resultantes de este proceso, la cual es la chimenea del sector ubicada sobre el edificio de fermentadores, a una altura aproximada de 20 metros." (Actuaciones remitidas por unidad judicial, 3 de marzo de 2015).

La eliminación de gases que genera a lo largo de todo el proceso de producción es el objeto de preocupación de los vecinos, ya que se encontraron en el aire (2013) concentraciones superiores a las permitidas de tolueno, xileno y formaldehído (sustancias íntimamente relacionadas con el proceso de fermentación del maíz) que contienen altos grados de toxicidad, tanto para seres humanos como para otras comunidades bióticas.

Marco Teórico

Un organismo se considera **bioindicador** cuando presenta alguna reacción que puede ser identificada frente a diferentes grados de alteración del medio, por ejemplo frente a la contaminación del aire. Muchas especies son incapaces de adaptarse ecológica o genéticamente a la condición ambiental alterada, de modo que su ausencia es, de hecho, un indicio del problema (LijteRoff et. al, 2009). Su comportamiento ante dichas condiciones difiere del natural en aspectos tales como hábito, fisiología, demografía y relaciones con otros organismos (García y Rubiano 1984). Así, mediante el estudio de dichos aspectos del organismo bioindicador es posible indagar el estado ambiental del espacio alterado.

En el caso de la contaminación atmosférica, se consideran buenos bioindicadores aquellos organismos que presentan sensibilidad a los contaminantes aéreos, una amplia distribución en el territorio en estudio y una gran longevidad (Ariño-Vila et al. 1997).

Los **líquenes** son asociaciones simbióticas entre un alga (fotobionte) y un hongo (micobionte) de cuya interacción se origina un talo estable, con estructura y fisiología específicas. Las algas encontradas pueden ser clorofitas o cianofitas, y los hongos que intervienen en la asociación son *Ascomycetes o Basidiomycetes* (Alexopoulos y Mims 1985). Poseen características particulares como carencia de raíz y de sistemas de conducción, ausencia de estructuras selectivas o protectoras del medio externo como cutículas o epidermis, por lo que se vuelven vulnerables a variaciones ambientales. Son organismos autótrofos, su crecimiento es muy lento, poseen una amplia distribución desde los polos al ecuador, y crecen en las superficies de los más diversos sustratos inertes u orgánicos. Los líquenes poseen órganos apendiculares cuyas formaciones son producidas por el hongo; al proyectarse desde la cara inferior, sirven para sujetar el talo al sustrato y pueden actuar reteniendo agua (Izco 2000).

Estos organismos dan respuestas a la presencia de contaminantes antropogénicos, pudiendo complementar su análisis con la utilización de equipos técnicos. Estos últimos son capaces de medir valores exactos de concentración de contaminantes en el aire, mientras que los líquenes son capaces de dar respuestas a la sinergia que se da en la atmósfera entre factores físicos (temperatura, humedad, luz) y los contaminantes, así como de éstos entre sí (Estrabou, 2011).

Por otro lado, en el seguimiento de la contaminación del medio ambiente, uno de los principales argumentos para el uso de líquenes es que la reacción de los organismos es un mejor indicador de la "calidad ambiental" que las medidas de concentración de un conjunto de contaminantes gaseosos y particulados seleccionados arbitrariamente (Nimis, P. et al. 2002). Esto es porque:

- Carecen de una cutícula externa protectora y absorben nutrientes y contaminantes en la mayor parte de su superficie exterior de fuentes predominantemente aéreas.
- Su naturaleza simbiótica. El hongo es obligado, si cualquiera de las partes está dañada por la contaminación esto dará lugar a una ruptura de la simbiosis, y en última instancia a la muerte de los líquenes.

- Son organismos perennes disponibles para el monitoreo durante todo el año.
- Muchas especies de líquenes acumulan altos contenidos de metales sin presentar daños, permitiendo de esta manera la vigilancia en zonas extensas.
- Los instrumentos son vulnerables al robo y el vandalismo.

La estructura de una comunidad está dada por las especies que, del reservorio total de especies y genotipos de la región, han logrado instalarse en el ecosistema atravesando una serie de filtros biológicos. Estos filtros actúan tanto a nivel *climático*, como de *régimen de disturbio* y de *interacciones biológicas*. Así, más allá de que la estructura de la comunidad de líquenes dependa de manera directa de variables microclimáticas como la luz, la humedad y la composición del aire (Rodríguez et al. 2009), estará enormemente condicionada por los cambios en el régimen de disturbio.

Para analizar el efecto de la supuesta contaminación atmosférica se evaluó el estado de la comunidad liquénica, a fin de determinar si los efectos de las emanaciones de la fábrica sobre ésta son mayores que los de las condiciones microambientales en su conjunto. Se tomaron forófitos lo más homogéneos posible en diferentes estaciones, las cuales se definieron como tipo Transecta en faja, coincidiendo con las 5 calles que corren de Norte a Sur. Si bien están reguladas por las mismas variables microclimáticas, las condiciones en uno y otro ambiente cambian y por lo tanto el impacto del disturbio también va a ser diferencial (Neitlich & McCune 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ciudad de Córdoba se encuentra a 440 msnm, ubicada en el faldeo oriental de las Sierras Chicas en un valle de erosión. Tiene un clima de tipo monzónico con invierno fríos y secos y veranos cálidos y lluviosos. La precipitación media anual es de 790 mm concentrada en el verano. Presenta un microcentro de edificios altos y un área que

circunda al centro donde alternan edificios con construcciones más bajas, finalmente extendidas áreas barriales de construcciones bajas (Estrabou, 1999 y 2005). Barrio Parque San Antonio es un barrio localizado en la periferia Sur de la Ciudad de Córdoba, por fuera de la Avenida Circunvalación sobre la Av. Valparaíso, a escasos 3000 metros de la Ciudad Universitaria.

Localización del muestreo

Los muestreos fueron realizados en barrio Parque San Antonio, en la ciudad de Córdoba, provincia de Córdoba, sobre *45 árboles* (forófitos) a diferentes distancias del foco de emisión de la ampliación de la fábrica Porta Hnos., causa aparente de contaminación atmosférica en la zona. Las especies de forofitos que intervinieron en el estudio fueron *Fraxinus angustifolia* (Fresno), *Myoporum laetum* (Siempreverde), *Salix alba* (Sauce), *Erythrina crista-galli* (Ceibo) y *Melia azedarach (*Paraíso), estando mucho más representados los dos primeros.

Luego, cada forófito fue localizado en el mapa del barrio por medio del Software Google Earth-2015, con el cual también se midió la distancia en metros (m) de cada uno respecto al Foco de Emisión.

Imagen satelital del barrio Parque San Antonio con la ubicación geográfica de sus respectivas unidades muestrales (Google Earth-2015)

Elección de los forófitos y obtención de los Datos

Con el fin de evaluar el efecto de la aparente contaminación sobre la comunidad liquénica, se homogeneizaron lo más posible las variables de contexto (especie, altura y diámetro a la altura del pecho -DAP- de los forófitos, además de observaciones particulares), disminuyendo así la variabilidad causada por otros factores distintos a la emisión de la fábrica (Tabla I). Si bien las comunidades sobre cada forófito están reguladas por las mismas variables microclimáticas, las condiciones en uno y otro ambiente se espera que cambien y por lo tanto el impacto del disturbio también debería ser diferencial (Neitlich & McCune 1997). Se seleccionaron cinco (5) estaciones con orientación Norte-Sur, donde cada franja estacionaria corresponde a una calle del barrio: Ramón Barrera, Francisco Bianco, Antonio Carreras, Cazón y Angel Colovini,

El análisis del estado de la comunidad de cada forófito se realizó en la cara Sur a la altura de 1,5m., por medio de una grilla de Acetato de Celulosa de 20cmx20cm de superficie y una lupa de mano para poder visualizar cuidadosamente las características y tipo de especie de cada liquen encontrado. Se contabilizó la Riqueza y la Cobertura relativa de cada especie identificada. También se evaluaron la Diversidad alfa y la Equitatividad en cada grilla por medio del cálculo del Índice de Shannon-Wiener (H') con el software de análisis ecológicos Past (Tabla II).

A fin de describir patrones espaciales de la Comunidad Liquénica y facilitar la elección de los análisis estadísticos adecuados, se realizó una serie de mapeos de sus caracteres (Riqueza, Cobertura, Diversidad, Equitatividad e IPA). (Ver Anexo I)

Finalmente, se calculó el Índice de Pureza Atmosférica (IPA). El IPA fue desarrollado en 1968 para cuantificar las condiciones ambientales usando líquenes como bioindicadores, y relaciona el número de especies de un sitio de muestreo con su sensibilidad a factores ambientales estresantes, principalmente la contaminación del aire (De Sloover & LeBlanc, 1968). Para ello, fue necesario cuantificar el Cortejo Promedio Específico (Q) y la frecuencia (*f*) de cada especie de líquen. La obtención de la frecuencia se realizó en base a la escala de Leblanc (1970), donde **1**: refiere a una muy rara y con muy bajo grado de cobertura; **2**: refiere a una infrecuente y con bajo grado de cobertura; **3:** refiere a una infrecuente y con grado medio de cobertura en algunos árboles; **4**: refiere a una frecuente y con alto grado de cobertura en algunos árboles; y **5**: refiere a una muy frecuente y con alto grado de cobertura en la mayoría de los árboles. El índice ecológico (Q) de una especie se establece sumando el número de especies de epífitas acompañantes que hay en una estación y luego se promedia la suma para todas las estaciones donde la especie estaba presente (Leblanc, 1970). Por último, en cada estación, la suma de Q*Xf* se divide por 10 y a través de ese resultado se obtiene el IPA de cada estación (Tabla III).

TABLAS I. II III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el muestreo, se identificaron un total de nueve (9) especies diferentes de líquenes, algunas solo hasta el nivel de género*: Endocarpon sp., Physcia undulata, Candelaria concolor, Normandina sp., Lepraria sp., Hyperphyscia pandani, Lecanora sp., Pixine sp.* y *Normandina pulchella.*

En primer lugar, se realizó un análisis de Correlación de Pearson para cada variable respuesta, con respecto a la Distancia al Foco de Emisión (Ver Anexo II), obteniendo un índice de correlación bajo para todas las variables de interés.

Luego, en base a la observación de los *mapas de las variables* de la comunidad liquénica, se identificó para todas las variables un patrón espacial donde las ***mayores*** se encontraron en las Estaciones del Este (Calles Barrera y Bianco), decreciendo con un mínimo en la Estación central (Calle Carreras) y con valores intermedios en las Estaciones del Oeste (Calles Cazón y Colovini).

En una segunda instancia, se obtuvieron los resultados del cálculo del valor de IPA (Índice de Pureza Atmosférica) por Estación, observando el mismo patrón que para las variables anteriores. (Tabla IV)

TABLA IV - Valor de IPA por Estación

Especies liquénicas más resistentes a la contaminación y más propensas a desarrollarse en ambientes urbanos, como *Physcia undulata* (Estrabou: 2004), mostraron un valor de IPA más bajo en el centro del barrio y hacia el Este. En contraste, otras especies como *Candelaria Concolor*, *Hyperphyscia pandani, Normandina pulchella y Pixine sp* tenían una cobertura más reducida y la mayoría distribuidas en calles donde el IPA era más alto.

A través de los análisis estadísticos no fue posible identificar el efecto causal directo de las diferencias entre los resultados de las variables en cada estación, ni la relación directa con el foco de emisión contaminante aparente; pero sí afirmar que por medio de la espacialización geográfica de los datos, fue posible identificar en la comunidad liquénica del barrio Parque San Antonio un patrón visual con una configuración más o menos gradual con respecto a todas las variables analizadas (IPA, Cobertura, Riqueza, Diversidad alfa y Equitatividad).

ANEXO I - MAPAS de variables de interés: Índice de Shannon (Diversidad) y Riqueza, Cobertura

ANEXO II - COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

Cobertura total - *Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades*

	Cobertura total	Dist Foco
Cobertura total	1,00	**0,45**
Dist Foco	-0,12	1,00

Riqueza - *Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades*

	Riqueza	Dist Foco
Riqueza	1,00	**0,21**
Dist Foco	0,19	1,00

Diversidad - *Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades*

	Diversidad	Dist Foco
Diversidad	1,00	**0,27**
Dist Foco	0,17	1,00

ANEXO III - GRÁFICOS DE BARRAS CON TEST DE TUKEY ACOPLADO

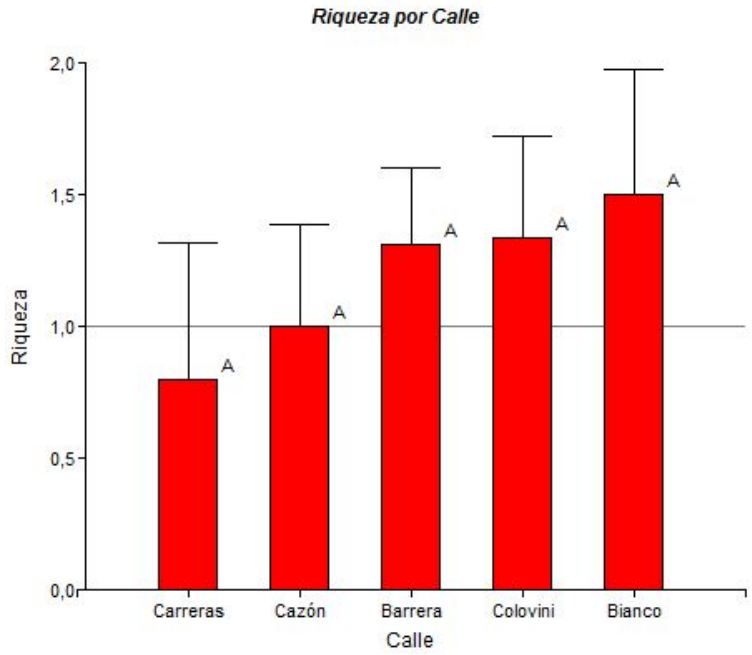

Gráfico 1: Gráfico de Barras con Test de Tukey resaltando la falta de diferencias significativas.

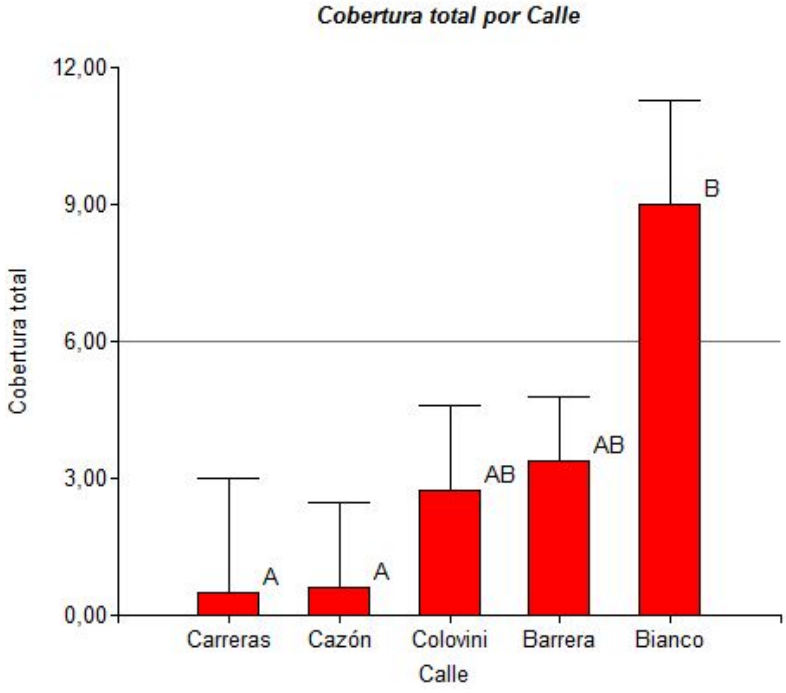

Gráfico 2: Gráfico de Barras con Test de Tukey resaltando diferencias significativas entre la calle Bianco respecto a Carreras y Cazón.

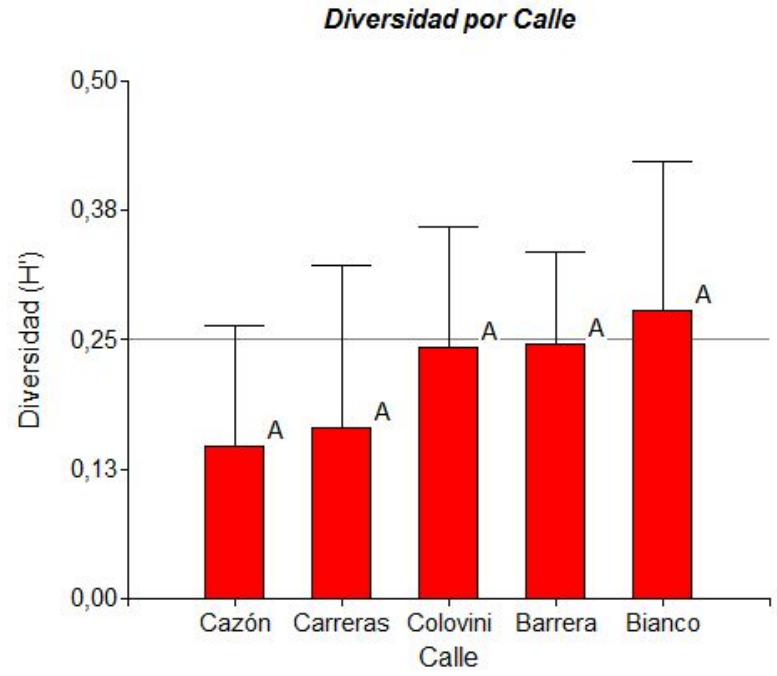

Gráfico 3: Gráfico de Barras con Test de Tukey resaltando la falta de diferencias significativas.

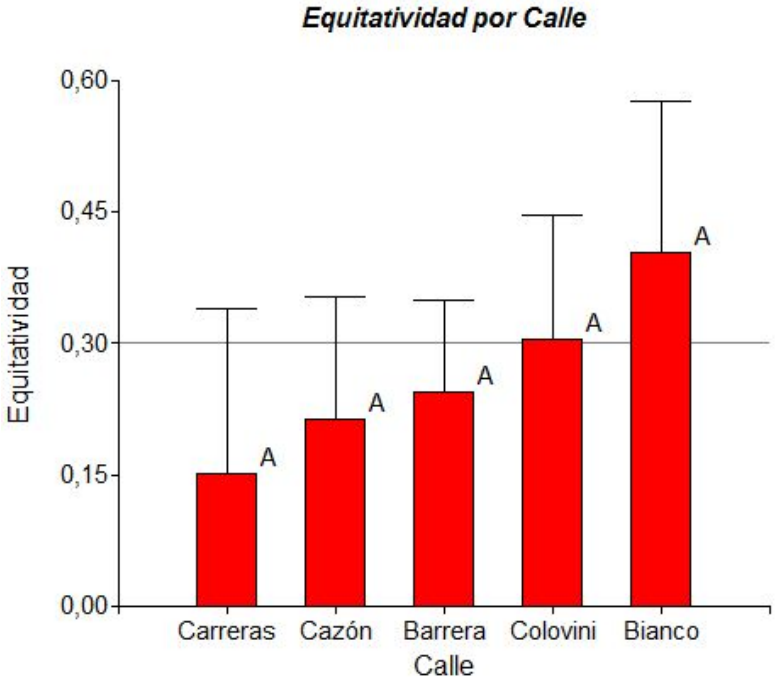

Gráfico 4: Gráfico de Barras con Test de Tukey resaltando la falta de diferencias significativas.

ANEXO IV - Comparación del estado de la comunidad liquénica por Calles a través de un ANAVA

ANAVA Riqueza por Calle:

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,04	4	0,51	0,38	**0,8218**
Calle Nro	2,04	4	0,51	0,38	0,8218
Error	53,74	40	1,34		
Total	55,78	44			

ANAVA Cobertura Total por Calle:

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	301,79	4	75,45	2,39	**0,0665**
Calle Nro	301,79	4	75,45	2,39	0,0665
Error	1260,80	40	31,52		
Total	1562,59	44			

ANAVA Diversidad por Calle:

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,10	4	0,02	0,20	**0,9372**
Calle Nro	0,10	4	0,02	0,20	0,9372
Error	4,93	40	0,12		
Total	5,03	44			

ANAVA Equitatividad por Calle:

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,23	4	0,06	0,31	**0,8668**
Calle Nro	0,23	4	0,06	0,31	0,8668
Error	7,19	40	0,18		
Total	7,41	44			

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a las vecinas de Barrio Parque San Antonio, Silvia Cruz, Florencia Sánchez y Nora Rosa Zamora por brindarnos su tiempo y contarnos con enorme detalle la historia del Barrio en los últimos años. Agradecemos también la inconmensurable ayuda del Dr. Juan Manuel Rodriguez y de la Doctorando Edith Filippini del CERNAR (Centro de Ecología y Recursos Naturales Renovables), que fué un punto de retorno durante toda la investigación, tanto para formarnos en taxonomía de líquenes como para asesorarnos durante diseño experimental e incluso identificar todas las muestras que no fue posible identificar a campo. Finalmente, agradecemos la opinión siempre abierta e ineludible de los profesores de la Cátedra de Problemática Ambiental de la UNC, Guillermo Schwindt y Liliana Argüello durante el transcurso de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- "Actuaciones remitidas por unidad judicial cuatro en srio. n° 5682/13 (310664) con motivo de la denuncia formulada por cruz silvia marcela y otros c/ porta hermanos s.a." (expte. 691747698), 3 de marzo de 2015.

-Alexopoulos C. y Mims C. (1985). Introducción a la micología. Omega, Barcelona, 660 pp.

-Ariño-Vila X., Azuaya T., García A. y Gómez-Bolea A. (1997). Els líquens com a bioindicadors de la qualitat atmosfferica: el cas de la vall de Fumanya. Bol. Inst. Cat. Hist. Nat. 65, 5-13.

-Ávila Vazquez, M., Dozzo G., Ruderman L., Ponce M.,Quattrini G., Miranda C., Ronchi S., (2013) Análisis de la Salud Colectiva Ambiental de Barrio Parque San Antonio. Red Universitaria de Ambiente y Salud / Médicos de Pueblos Fumigados.

-De Sloover, J., & LeBlanc, F. (1968). Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity. In *Proc. Symp. Recent Adv. Trop. Ecol* (Vol. 1968, pp. 42-56).

-Estrabou, C., Filippini, E., Soria, J. P., Rodriguez, J. M. (2011) Sistema de monitoreo de la calidad del aire utilizando líquenes como bioindicadores en el centro de Argentina. In Investigaciones para una ciudad más justa, democrática y sustentable (pp. 15-17)

-García L. y Rubiano O. (1984). Comunidades de líquenes como indicadores de niveles de calidad del aire en Colombia. Cont. Amb. 8, 73-90.

-Izco J. (2000). Botánica. McGraw-Hill Interamericana, Madrid. 906 pp.

-LeBlanc, S. F., & Sloover, J. D. (1970). Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal.*Canadian Journal of Botany*, *48*(8), 1485-1496.

-LijteRoff, R., Lima, L., & PRieRi, B. (2009). Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *25*(2), 111-120.

-Nimis, P. L., & Purvis, O. W. (2002). Monitoring lichens as indicators of pollution. In *Monitoring with Lichens—Monitoring Lichens* (pp. 7-10). Springer Netherlands.

-Rodriguez, J. M., Estrabou, C., Fenoglio, R., Robiati, F., Salas, C., & Quiroga, G. (2009). Recuperación post-fuego de la comunidad de líquenes epífitos en la provincia de Córdoba, Argentina. *Acta Botánica Brasílica*, *23*(3), 854-859.

-Will-Wolf, S., Esseen, P. A., & Neitlich, P. (2002). Monitoring biodiversity and ecosystem function: forests. In *Monitoring with lichens—Monitoring lichens*(pp. 203-222). Springer Netherlands.